

BL

**Piezoelectric polymorphous element with blades of opposite polarity - allows bending in either direction selected by polarity of electrodes of bimorph combination of one pair of blades**

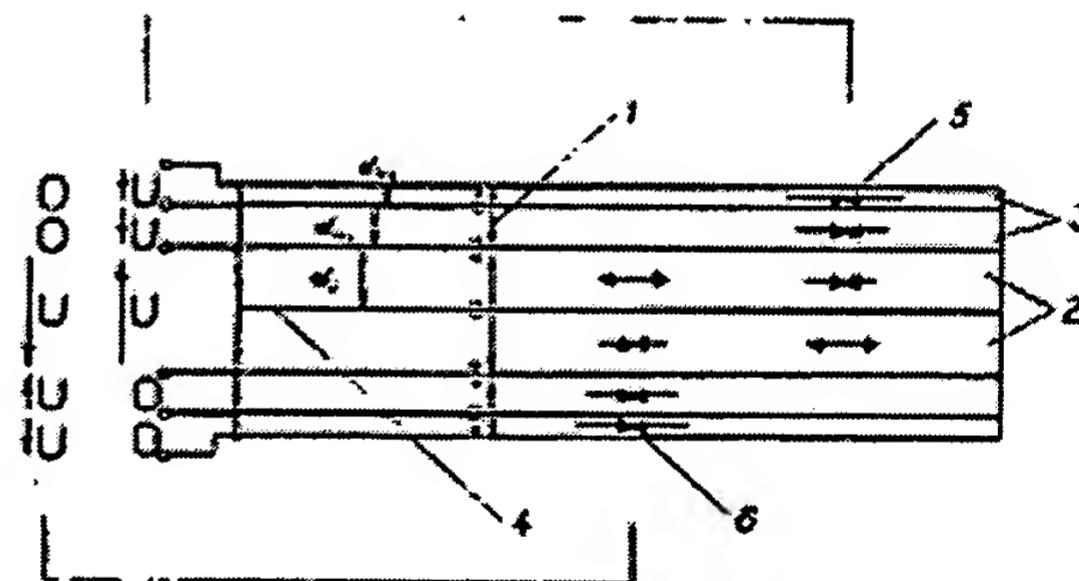
**Patent number:** DE4218368  
**Publication date:** 1993-12-09  
**Inventor:** VOIGT KONRAD (DE); MEIKSTADT WOLFGANG (DE)  
**Applicant:** TRIDELTA AG (DE)  
**Classification:**  
- **international:** H01L41/04; H01L41/09  
- **European:** H01L41/09G  
**Application number:** DE19924218368 19920604  
**Priority number(s):** DE19924218368 19920604

**Abstract of DE4218368**

A first pair of blades (2) on opposite sides of a plane of symmetry (4) have opposite polarities and are connected together in series to a source of operating voltage (U).

A second pair (3) of the same polarity are connected parallel to each other and to the combination of the first pair, adjacent to them in the direction of the desired bending. The bending is reversible with the electrode polarity alone and no connection to the plane of symmetry is necessary.

**ADVANTAGE** - Large deflections are possible making full use of piezoelectric and mechanical properties of the blades, without overstressing them or varying their polarities.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑯ Offenlegungsschrift  
⑯ DE 42 18 368 A 1

⑯ Int. Cl. 5:  
**H 01 L 41/04**  
H 01 L 41/09

⑯ Aktenzeichen: P 42 18 368.5  
⑯ Anmeldetag: 4. 6. 92  
⑯ Offenlegungstag: 9. 12. 93

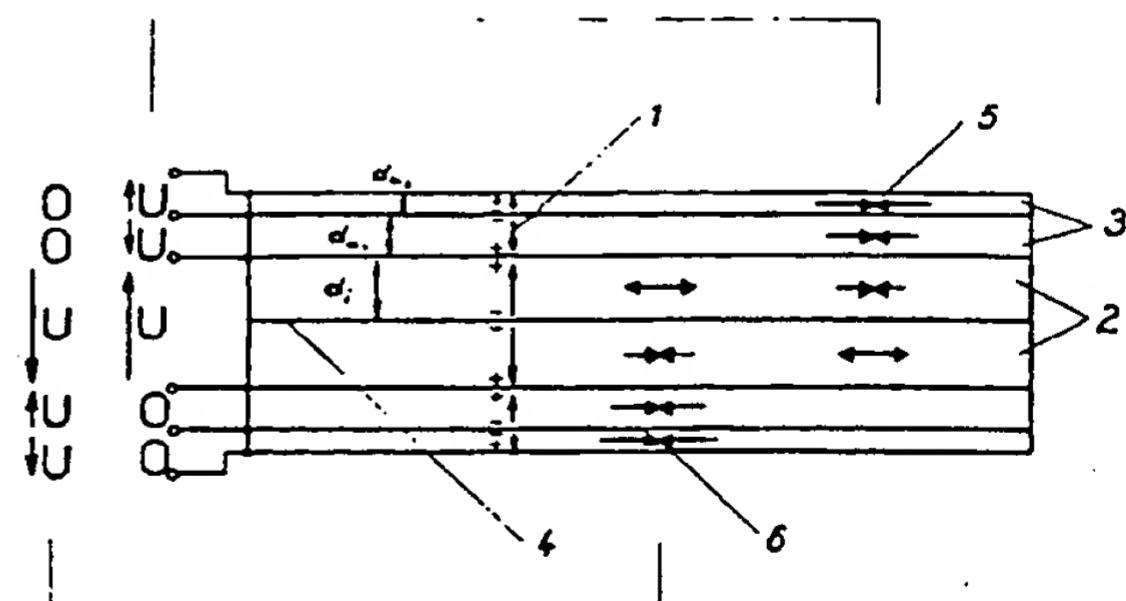
DE 42 18 368 A 1

⑯ Anmelder:  
Tridelta AG, 07629 Hermsdorf, DE

⑯ Erfinder:  
Voigt, Konrad, O-6532 Bad Klosterlausnitz, DE;  
Meikstadt, Wolfgang, O-6530 Hermsdorf, DE

④ Piezoelektrisches Multimorph-Biegeelement

⑤ Die Erfindung betrifft ein piezoelektrisches Multimorph-Biegeelement, bei dem mit einer einfachen elektrischen Ansteuerung die piezoelektrischen und mechanischen Eigenschaften der Lamellen voll ausgeschöpft werden sollen, ohne diese zu schädigen. Ernungsgemäß erfolgt dies dadurch, daß erste Lamellen (2) entgegengesetzter Polarität in Reihenschaltung gleich- und gegensinnig und diesen in Richtung der gewünschten Biegung benachbarte zweite Lamellen (3) ausschließlich gleichsinnig zu ihrer Polarität parallel zueinander und zur genannten Reihenschaltung ansteuerbar sind.



DE 42 18 368 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 10. 93 308 049/148

7/45

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein piezoelektrisches Multimorph-Biegeelement. Bei derartigen Multimorph-Biegeelementen sind mehrere Lamellen aus piezoelektrischem Material derart miteinander verbunden, daß bei einem gegebenen anliegenden elektrischen Feld maximale Biegeauslenkungen erzeugt werden.

5 Problematisch ist dabei die Gefahr elektrischer und/oder mechanischer Überlastungen. Erstere äußern sich in Depolarisationserscheinungen, d. h. im Verlust oder Minderung einer bei der Herstellung aufgeprägten, funktionswichtigen Vorzugsrichtung, die bestimmt, ob im Zusammenwirken mit dem angelegten elektrischen Feld eine piezoelektrische Dehnung oder Kontraktion erfolgt. Die mechanischen Überlastungen führen insbesondere 10 durch örtliche Nichtübereinstimmung von piezoelektrischer Dehnung oder Kontraktion mit den entsprechenden elastischen Verformungen im gebogenen "Balken" zu Fließerscheinungen bis zum Ausfall der Klebeverbindungen. Insbesondere bei hoher mechanischer Belastung kommt es zu Rißbildungen in den Lamellen durch zu hohe Zugspannungen.

15 Es ist bekannt, bei gegebener an den einzelnen Lamellen oder Lamellenpaaren anliegender Spannung, die zunehmende Deformation über die zunehmende Feldstärke zu erreichen (DE-OS 31 42 684) oder den Dehnungsmodul über die Auswahl des Materials für die einzelnen Lamellen entsprechend abzustimmen (DD 293 918).

20 Solche Biegeelemente können in bekannter Weise als Bimorph angesteuert werden, d. h. ein Lamellenpaket wird in seiner Polaritätsrichtung angesteuert und das andere entgegengesetzt. Insbesondere im statischen Betrieb werden hohe Feldtrieb werden hohe Feldstärken angestrebt, was aber bei Ansteuerung gegensinnig zur 25 Polarität schon zur Depolarisation oder gar zur Umpolarisation und damit zum Verlust der Biegefunktion führen kann.

25 Solche Biegeelemente können in bekannter Weise als Bimorph angesteuert werden, d. h. ein Lamellenpaket wird in seiner Polaritätsrichtung angesteuert und das andere entgegengesetzt. Insbesondere im statischen Betrieb werden hohe Feldtrieb werden hohe Feldstärken angestrebt, was aber bei Ansteuerung gegensinnig zur 30 Polarität schon zur Depolarisation oder gar zur Umpolarisation und damit zum Verlust der Biegefunktion führen kann.

30 Denkbar wäre eine Ansteuerung der verschiedenen Lamellen mit unterschiedlichen Spannungen, was aber zu aufwendig ist. Es ist deshalb auch üblich, die Lamellen jeweils nur einer Seite bezogen auf die neutrale Faser 35 gleichsinnig zu ihrer Polarität mit hohen Feldstärken um 1 kV/mm anzusteuer, wobei dann die Lamellen der anderen Seite nur als passive Träger fungieren.

35 Eine weitere Möglichkeit, Depolarisationen zu vermeiden, ist das Anlegen einer statischen elektrischen Vorspannung in Polarisationsrichtung an beide Lamellenpakete, so daß bei Ansteuerung als Resultierende keine oder nur zulässige antipolare Feldstärken auftreten. Dies führt aber zu einer sehr hohen Belastung der angesteuerten Lamellen in Richtung ihrer Polarität und zu hohen Betriebsspannungen.

40 Beide zuvor geschilderten technischen Möglichkeiten führen zu starken mechanischen Spannungen in den ohnehin maximal beanspruchten äußeren Lamellen mit der Gefahr von Rißbildung und Ausfall.

45 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein piezoelektrisches Multimorph-Biegeelement zu schaffen, das ohne besondere Maßnahmen hinsichtlich der elektrischen Spannungsversorgung grobe Auslenkungen unter voller Ausschöpfung der piezoelektrischen und mechanischen Eigenschaften des Lamellenwerkstoffes ermöglicht, ohne diesen zu überlasten oder seinen Polaritätszustand zu ändern.

Diese Aufgabe wird durch die in den Patentansprüchen beschriebene Erfindung gelöst.

50 Die vorteilhaften Auswirkungen der Erfindung werden nachstehend an Hand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Die beigefügten Zeichnungen stellen dar:

Fig. 1 eine schematische Schnittdarstellung eines erfindungsgemäßen Multimorph-Biegeelements;

Fig. 2 eine Schnittdarstellung eines erfindungsgemäßen Multimorph-Biegeelements mit äußerer Beschaltung und

Fig. 3 eine Schnittdarstellung eines erfindungsgemäßen, einseitig auslenkbaren Multimorph-Biegeelements nach Anspruch 3.

55 Die Fig. 1 zeigt ein piezoelektrisches Multimorph-Biegeelement aus insgesamt sechs Lamellen, deren vor der Zusammenfügung der Lamellen durch starke elektrische Felder aufgeprägte piezoelektrische Polarität durch Pfeile 1 und zugleich durch entsprechende Plus- und Minuszeichen gekennzeichnet ist. Erfindungsgemäß befinden sich beiderseits einer Symmetrieebene 4 Lamellen 2 entgegengesetzter Polarität in Reihenschaltung an einer Betriebsspannung U. In Bezug auf die Symmetrieebene 4 weiter außen schließen sich je zwei weitere Lamellen 3 an die ausschließlich gleichsinnig zu ihrer Polarität parallel zueinander und zur genannten Reihenschaltung der Lamellen 2 durch die Spannung U ansteuerbar sind. Ganz links ist die Spannungsansteuerung dargestellt, die realisiert werden muß, um das Multimorph-Biegeelement nach oben zu biegen. Dieser Spannungsansteuerung entsprechen die piezoelektrischen Dehnungs- bzw. Kontraktionszustände 5. Entsprechend gilt die Spannungsansteuerung rechts daneben für die Biegung nach unten mit den piezoelektrischen Dehnungs- 60 bzw. Kontraktionszuständen 6.

In prinzipiell gleicher Weise funktioniert das Biegeelement nach Fig. 2, das mit einer besonders einfachen äußeren Beschaltung auskommt.

65 Die Umkehr der Biegerichtung wird allein durch Umschaltung der Polung der Elektroden der ein Bimorph bildenden ersten Lamellen 2 bewirkt. Die Umschaltung der Potentialdifferenz von der zweiten Lamelle 3 der einen Seite auf diejenige der anderen Seiten erfolgt dabei von selbst.

Eine weitere Vereinfachung ergibt sich daraus, daß in der Symmetrieebene 4 keine Kontaktierung erforderlich ist. Es kann aber aus Gründen der Verbindungstechnik oder der Vergleichmäßigung des Feldverlaufs ein nicht angeschlossener Metallbelag in dieser Symmetrieebene angeordnet sein.

Diese Ausführung ist insbesondere für Biegeelemente, die in zwei diskreten Zuständen, etwa als Schalter, betrieben werden sollen, von Vorteil. Über eine variable Ansteuerspannung ist selbstverständlich auch eine stetig veränderbare Auslenkung möglich.

Fig. 3 schließlich zeigt ein einseitig nur nach oben auslenkbares Biegeelement, wobei die symbolische Funktionsbeschreibung analog Fig. 1 für sich selbst spricht. Hervorzuheben ist hier, daß die Reihenschaltung hier aus Lamellen 2 unterschiedlicher Dicke besteht, was eine spezielle Anpassung an den Fall der einseitigen Biegung Auslenkung ermöglicht.

Eine Umkontakteierung 7 (Fig. 2 und 3) ermöglicht in einfacher Weise den Aufbau von Biegeelementen mit zusammengefaßten drei bzw. zwei Außenanschlüssen.

Das gleiche Resultat ist natürlich auch mit umgekehrter Polarität der Lamellen 2 und 3 und der Ansteuerspannung erreichbar.

Die weiteren Ausführungen zur Bemessung des erfundungsgemäßen Multimorph-Biegeelements lassen sich mühelos auf alle drei Figuren anwenden.

Die ersten Lamellen 2 bilden für sich einen als Reihenbimorph geschalteten Bieger, der von der Ausführung nach Fig. 3 abgesehen durch Polumschaltung beidseitig ausgelenkt werden kann. Die maximal zulässige Spannung ist von der zulässigen antipolaren Feldstärke ( $E_{ap}$ ) des Materials und der Dicke der ersten Lamellen 2 ( $d_i$ ) abhängig und ergibt sich zu

$$U = 2 d_i * E_{ap}$$

Parallel zu diesem Bimorph werden jeweils zweite Lamellen 3 einer Seite alternativ in Richtung ihrer Polarität parallel geschaltet, so daß sich die Biegewirkungen addieren. Die für die äußeren zweiten Lamellen 3 zulässige Spannung in Richtung ihrer Polarität ( $E_p$ ) ergibt sich zu

$$U = E_p * d_{an}$$

Für piezomechanisch hochaktive Materialien ergeben sich für das Verhältnis  $E_p/E_{ap}$  Werte von etwa 10. Allerdings sind wegen der auftretenden mechanischen Spannungen nur Feldstärken von 1,5 kV/mm anwendbar, wodurch Werte von  $E_p/E_{ap} = 5$  kaum überschritten werden können. Für Biegeelemente mit einem großen Stellweg, die möglichst dünn ausgeführt sein müssen, ist es sinnvoll, für die äußeren, zweiten Lamellen 3 einen Werkstoff mit großem Dehnungsmodul zu verwenden und für die inneren, ersten Lamellen 2 einen solchen mit hoher antipolarer Feldstärke ( $E_{ap}$ ), so daß u. U. Werte  $E_p/E_{ap} = 2$  d. h. gleicher Dicke der Lamellen 2 und 3 erreichbar sind.

Der geringere Dehnungsmodul  $d_{31}$ , den solche Werkstoffe in der Praxis aufweisen ist nach dem DDR-Patent 293 918 sogar erwünscht, so daß eine optimierte technische Lösung möglich ist.

Ein symmetrisches Biegeelement aus vier polarisierten Lamellen nach Fig. 2 hat folgende Kennwerte:

Dicke (mm)	$d_{31} * 10^{-12} \text{ (m/V)}$ (bei $E = 1 \text{ kV/mm}$ )	$E_p$ (kV/mm)	$E_{ap}$ (kV/mm)	
erste Lamelle 2 0,25	- 190	2,0	0,3	40
zweite Lamelle 3 0,15	- 250	1,5	0,2	45

Die maximale Ansteuerspannung von 150 V ergibt sich aus der antipolaren Feldstärke  $E_{ap}$  des Werkstoffes der ersten Lamellen 2. Gegenüber einem Bimorph gleicher Außenabmessungen und Ansteuerspannung weist ein erfundungsgemäß aus Werkstoffen mit den oben genannten Eigenschaften hergestelltes Multimorph-Biegelement eine um den Faktor 3 größere Auslenkung und eine um den Faktor 5 größere Klemmkraft auf.

Beim Vergleich mit einem mit gleicher Feldstärke von 1 kV/mm einseitig in Polarisationsrichtung angesteuerten Bimorph ergibt sich für das erfundungsgemäß Multimorph-Biegelement bei einer um den Faktor 2,7 verminderten Ansteuerspannung eine um 14% höhere Auslenkung und eine um 80% größere Klemmkraft.

#### Patentansprüche

1. Piezoelektrisches Multimorph-Biegelement, dadurch gekennzeichnet, daß erste Lamellen (2) entgegengesetzter Polarität in Reihenschaltung gleich- und gegensinnig und diesen in Richtung der gewünschten Biegung benachbarte zweite Lamellen (3) ausschließlich gleichsinnig zu ihrer Polarität parallel zueinander und zur genannten Reihenschaltung ansteuerbar sind.
2. Beidseitig auslenkbares Biegeelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zweite Lamellen (3) beiderseits der Reihenschaltung erster Lamellen (2) angeordnet sind und ein Wechsel der Auslenkungsrichtung durch Umpolung der Ansteuerung der Reihenschaltung erster Lamellen (2) und Umschalten der Ansteuerung von den zweiten Lamellen (3) einer Seite auf diejenigen der anderen Seite erzielbar ist.
3. Einseitig auslenkbares Biegeelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zweite Lamellen (3) nur auf einer Seite der Reihenschaltung erster Lamellen (2) angeordnet sind.
4. Biegelement nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die ersten Lamellen (2) aus einem

Material mit hoher piezoelektrischer Koerzitivfeldstärke bestehen.

5. Biegeelement nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die piezoelektrische Querdeformation der einzelnen Lamellen (2, 3) der Biegedeformation angepaßt ist.

6. Biegeelement nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Querdeformation bei gegebener Ansteuerspannung über die wirksame Feldstärke infolge unterschiedlicher Dicke der Lamellen (2, 3) angepaßt ist.

7. Biegeelement nach Anspruch 5 und 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Querdeformation über den piezoelektrischen Deformationsmodul angepaßt ist.

10. Biegeelement nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die wirksame Feldstärke durch Dielektrizitätskonstante der Lamellen (2, 3) einstellbar ist.

9. Beidseitig auslenkbares Biegeelement nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Wechsel der Auslenkungsrichtung durch Umkehrung der Polarität einer einzigen Ansteuerspannung erzielbar ist.

10. Beidseitig auslenkbares Biegeelement nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrodenanschlüsse zu drei Außenanschlüssen zusammengefaßt sind.

15. Einseitig auslenkbares Biegeelement nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrodenanschlüsse zu zwei Außenanschlüssen zusammengefaßt sind.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

**- Leerseite -**

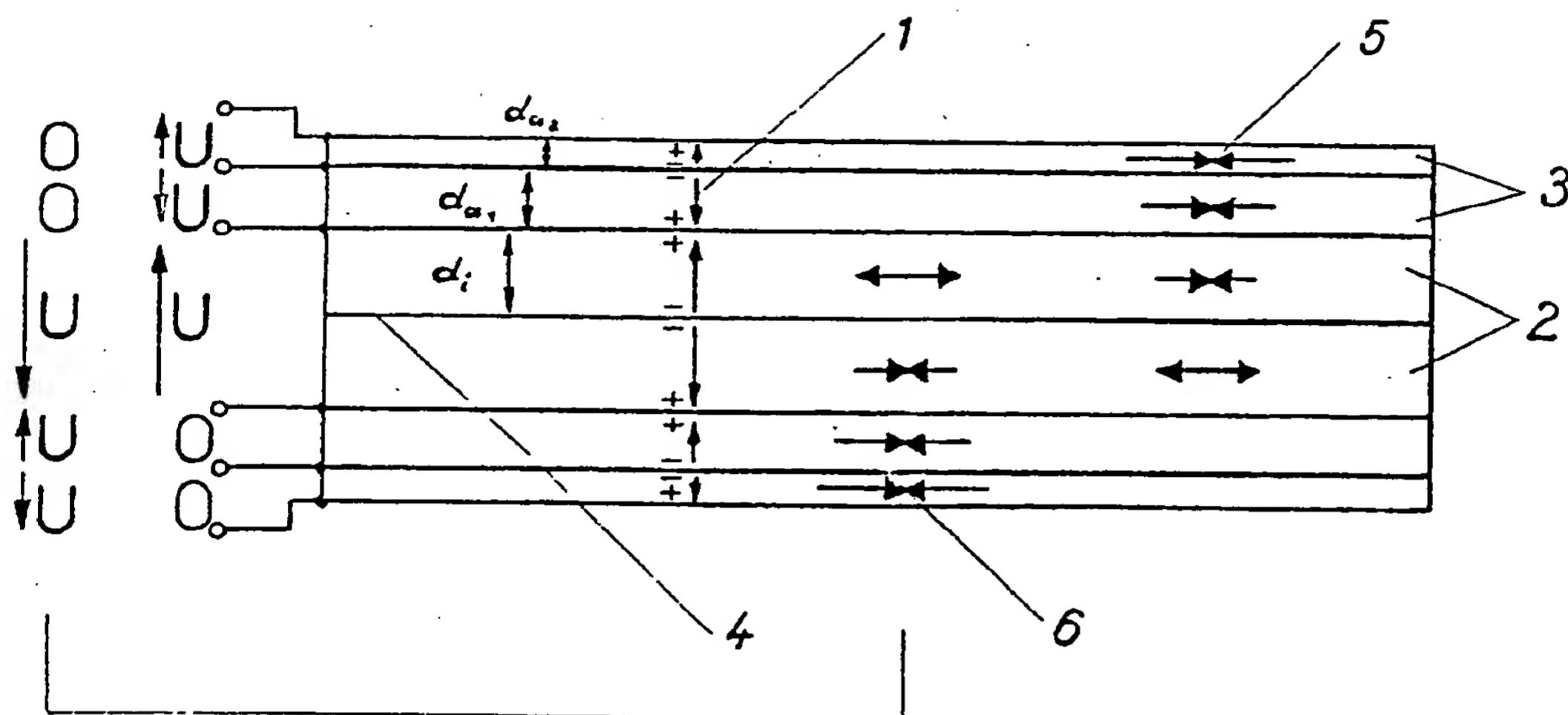


Fig. 1

X

308 049/148

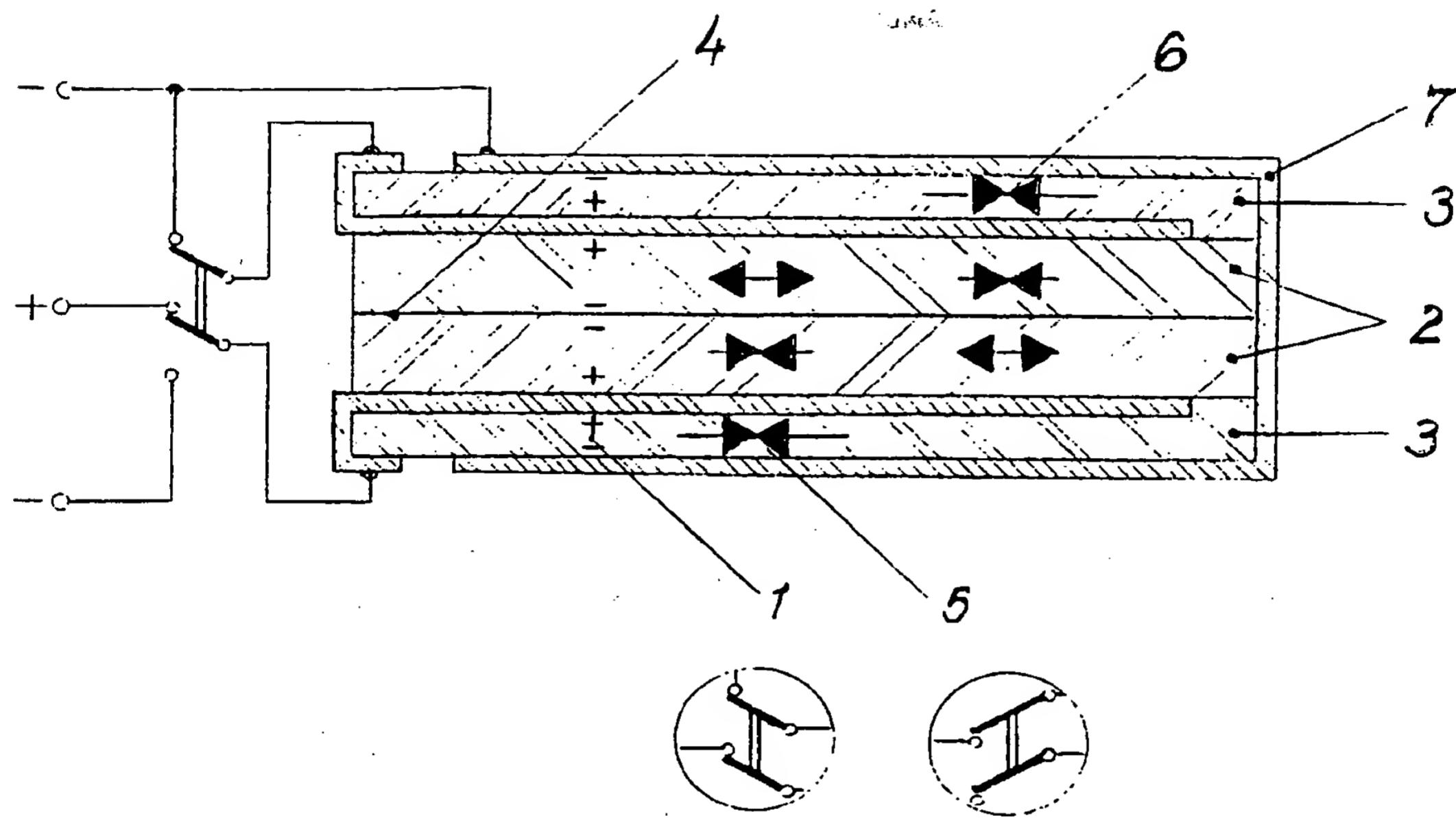


Fig. 2

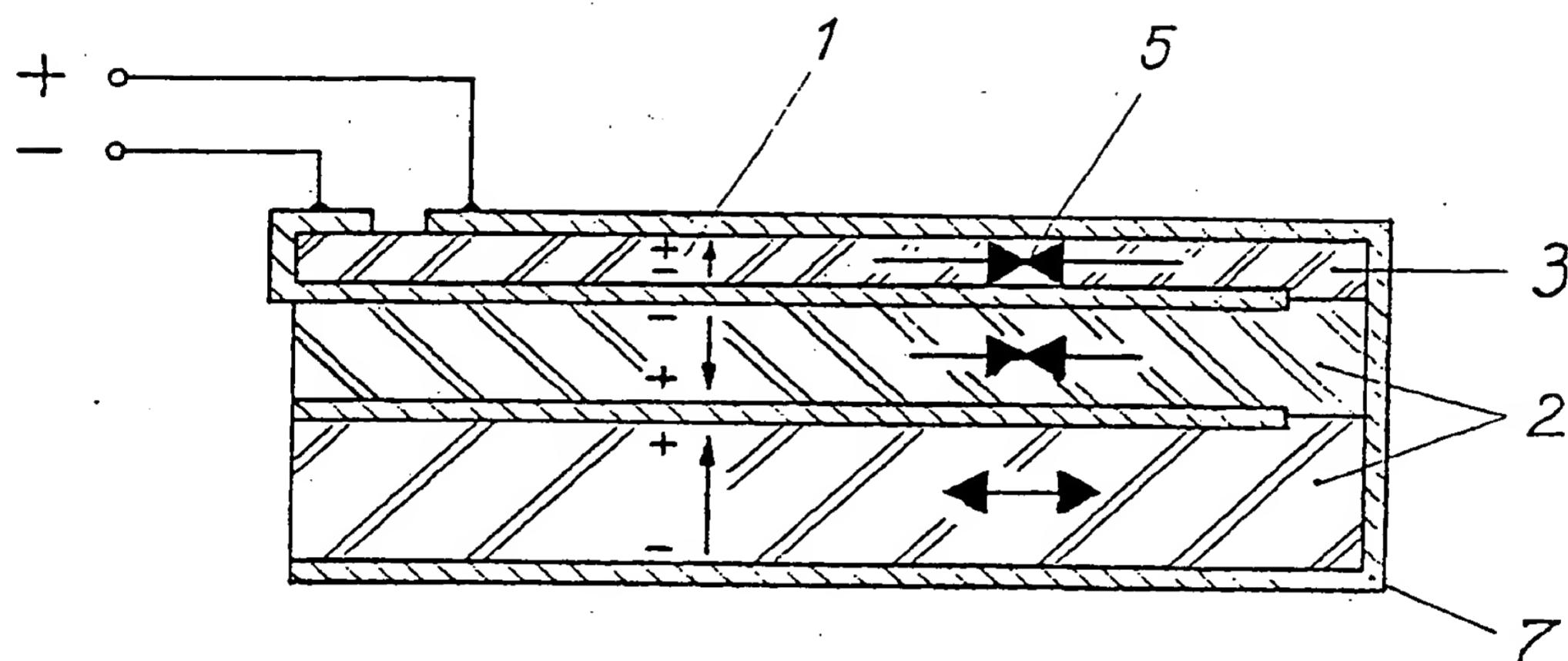


Fig. 3

308 049/148